**昆虫学报** *Acta Entomologica Sinica*，June 2006，49(3)：461－469　ISSN 0454-6296

# 卧龙自然保护区落叶松林不同恢复阶段的嗜尸性甲虫物种多样性

**罗天宏**[1,2]**，于晓东**[1,2]**，周红章**[1*]

（1. 中国科学院动物研究所，北京　100080；2. 中国科学院研究生院，北京　100039）

**摘要：**在四川卧龙国家自然保护区，以天然落叶阔叶林（约100年生）为对照，选择新种植（5年生）、幼年（15年生）和成熟（45年生）的3种落叶松种植林，采用引诱法分别在地表和地上1.5 m处取样，研究处于不同恢复阶段林地中的嗜尸性甲虫物种多样性及其变化格局。共采集甲虫标本3 066号，其中隐翅虫、球蕈甲和埋葬甲科分别占总个体数的43.71%、31.83%和17.97%。嗜尸性甲虫的多度格局呈对数正态分布，随着落叶松林树龄的增长，其分布格局更加接近天然林。物种丰富度和多样性在3种落叶松林内均显著低于天然林，且在3种落叶松林中，新种植的最低。主坐标分析排序和聚类分析表明，不同树龄的落叶松林和天然阔叶林间的嗜尸性甲虫群落组成存在显著差异。以上结果表明，落叶松种植林尚无法取代天然落叶阔叶林在维持嗜尸性甲虫物种多样性中的作用。

**关键词：**嗜尸性甲虫；森林恢复；生物多样性；落叶松种植林；天然落叶阔叶林

**中图分类号：**Q968　**文献标识码：**A　**文章编号：**0454-6296(2006)03-0461-09

# Species diversity of sarcosaprophagous beetles (Coleoptera) in larch plantations at different stages of reforestation in Wolong Natural Reserve, Southwestern China

LUO Tian-Hong[1,2], YU Xiao-Dong[1,2], ZHOU Hong-Zhang[1*] (1. Institute of Zoology, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100080, China; 2. Graduate School, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China)

**Abstract**: This paper studies the influences of forest regeneration on the species diversity of sarcosaprophagous beetles (Coleoptera) in Wolong Natural Reserve (102°52′－103°24′E, 30°45′－31°25′N), Southwestern China. Comparisons were made among larch plantations dominated by *Larix kaempferi* of different ages (namely, 5 years, 15 years, and 45 years after being planted) and natural deciduous broad-leaved forest (ca. 100 years old). Bait-traps were used in the field collections and laid in two ways, on the ground and 1.5 m high above the ground. A total of 3 066 beetles were collected, of which 43.71% belonged to Staphylinidae, 31.83% Leiodidae, and 17.97% Silphidae. These three families are so considered as dominant groups. Species-abundance patterns fit the lognormal distribution; the patterns of the larch plantations, as their age increases, resembled more and more closely to that of the natural broad-leaved forest. Species richness and diversity were significantly lower in the larch plantations than in the natural broad-leaved forest, and the lowest values of both were observed in the 5-year-old larch plantation. Based on the species composition and abundance, sarcosaprophagous beetles of the three larch plantations and the adjacent natural broad-leaved forest could be separated from each other by ordinations based on principal coordinate analysis (PCoA) and cluster analysis. Our results showed that larch plantations could not completely replace natural broad-leaved

---

**基金项目：**国家重点基础研究发展规划项目（G2000046800）；国家自然科学基金面上项目（30570215）；IFS国际合作项目（No. D/3684-1）；国家基础科学人才培养基金项目（NSFC-J0030092）

**作者简介：**罗天宏，女，1974年生，北京人，在职硕士生，从事昆虫分类学和生物多样性研究，E-mail：luoth@ioz.ac.cn

* **通讯作者** Author for correspondence，E-mail：zhouhz@ioz.ac.cn

**收稿日期** Received：2005-11-17；**接受日期** Accepted：2006-02-03

forests in the role of conserving the biodiversity of sarcosaprophagous beetles.

**Key words**：Sarcosaprophagous beetles；reforestation；biodiversity；larch plantation；natural deciduous broad-leaved forest

林业在社会经济中占有重要地位，森林采伐和植树造林是林业部门常见的管理方式，但是这种管理方式造成森林生境结构和外貌的改变，影响到森林内动物的种类、丰富度和行为，从而影响到生物多样性和整体格局，受到人们的广泛关注（Davies and Margules，1998；Niemelä，2001；于晓东等，2006a）。森林恢复后生态群落的恢复水平是当前生物多样性和保护生物学研究的热点，已经在北美和欧洲进行了大量研究（Day and Carthy，1988；Niemelä *et al*.，1993，1996；Magura *et al*.，2002），但目前我国此类研究相对较少（于晓东等，2003，2004a，2004b）。由于昆虫对于生境变化高度敏感，若干类群，尤其是甲虫，可以作为监测生境和生物多样性变化的指示种（Eyre *et al*.，1996；Lövei and Sunderland，1996；Bohoc，1999），林业活动无疑也会对昆虫类群的丰富度和多度产生剧烈影响（Lenski，1982；Klein，1989；Gibbs and Stanton，2001）。嗜尸性甲虫指在尸体腐解过程中出现的鞘翅目昆虫，主要包括隐翅虫、埋葬甲、步甲、阎甲、金龟等科的昆虫（周红章等，1997）。这些甲虫可利用营养丰富的动物尸体作为自己及其幼虫的食物来源，促进养分的循环和土壤的周转率，对尸体的分解和维持森林生态系统功能起重要作用。而且这些类群易被引诱物吸引，在适宜的环境下密度很高、便于采集，可以作为很好的监测生境和生物多样性变化的指示类群。因此，比较人工种植林与邻近天然原始森林嗜尸性甲虫的物种组成和数量差异，就能判断森林恢复措施是否得当，为监测森林恢复工作提供依据。

卧龙国家自然保护区植被呈明显的垂直分带，保存有大面积的原始天然落叶阔叶林，和一定规模不同树龄的落叶松种植林，为研究不同森林恢复阶段对生态群落的影响提供了良好的环境（卧龙自然保护区管理局等，1987；于晓东等，2006b）。本研究在卧龙国家自然保护区，利用引诱获得的嗜尸性甲虫为材料，比较新种植（5 年生）、幼年（15 年生）和成熟（45 年生）3 种树龄的落叶松种植林以及邻近的天然落叶阔叶林（约 100 年生）生境间嗜尸性甲虫的物种丰富度、个体数量、多样性和均匀度等多样性指数间的差异，探讨该地区森林不同恢复阶段与嗜尸性甲虫物种多样性的关系，结果如下。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究地点

研究地点位于四川卧龙国家自然保护区（102°52′～103°24′ E，30°45′～31°25′ N，1 150～6 250 m），地理上属四川盆地西缘，邛崃山东南坡，为四川盆地向川西高原的过渡地带，以高山峡谷为主。本文研究地点海拔范围为 2 190～2 650 m，落叶阔叶林为优势天然森林植被，曾经覆盖卧龙地区这一海拔梯度的大部分区域。但长期受到当地居民刀耕火种等农作形式的破坏，落叶阔叶林正逐渐萎缩，保护区的建立使残留的天然落叶阔叶林免受进一步破坏。而且，退耕还林以来，以日本落叶松 *Larix kaempferi* 为主，并夹杂少量四川红杉 *L*. *mastersiana* 的经济种植林也在保护区内大力推广，在上世纪 60 年代天然林被砍伐后形成的弃耕地上建立了大面积不同树龄的人工落叶松种植林。本研究对以下 4 种森林生境类型进行调查：

（1）天然落叶阔叶林：树龄在 100 年左右，主要树种为槭树 *Acer* spp.、桦树 *Betula* spp.、藏刺榛 *Corylus ferox* var. *thibetica*、钓樟 *Lindera* spp.、花楸 *Sorbus* spp.、椴树 *Tilia* sp. 以及荚蒾 *Viburnum* spp. 等，林冠层约 7～15 m；林内郁闭度高，灌木层稀疏，以小檗 *Berberis* sp.、杜鹃 *Rhododendron* sp.、蔷薇 *Rosa* spp.、悬钩子 *Rubus* spp.、柳 *Salix* sp. 和五味子 *Schisandra* sp. 等为主；草本层适中，以石竹 *Dianthus* sp.、东方草莓 *Fragaria orientalis*、早熟禾 *Poa* sp. 以及鹅观草 *Roegneria* sp. 等为主；地表枯落物和苔藓层较厚。

（2）新种植（5 年生）落叶松种植林：建立于 1999 年，没有形成紧密的林冠层，除了落叶松外，伴生树种还包括沙棘 *Hippophae rhamnoides* 和洋槐 *Robinia pseudoacacia*；灌木层稀疏；草本层浓密，以开放生境的典型物种为主，如蒿 *Artemisia* spp.、鸭茅 *Dactylis* spp.、蟹甲草 *Cacalia* spp.、蛇莓 *Duchesnea indica* 和东方草莓 *Fragaria orientalis* 等；枯落物层较稀薄。

（3）幼年（15 年生）落叶松种植林：建立于 1989 年，已经形成紧密的林冠层，伴生树种包括柳 *Salix* spp. 和马桑 *Coriaria sinica*；灌木层相对稀疏，以榛

*Corylus* sp.、绣线菊 *Spiraea* sp.、沙棘 *Hippophae rhamnoides* 和悬钩子 *Rubus* spp.为主；草本层稀疏，以荚果蕨 *Matteuccia* spp.、耳蕨 *Polystichum* sp.、蛇莓 *Duchesnea indica* 和东方草莓 *Fragaria orientalis* 为主；枯落物层较厚。

(4) 成熟(45 年生)落叶松种植林：建立于 1960 年，林冠层紧密，但与 15 年生种植林相比，由于风暴形成若干倒木，林冠层相对稀疏；灌木层和草本层组成与 15 年生种植林相似，但高度和覆盖率更高；枯落物层更厚。

### 1.2　取样方法和标本鉴定

本研究以引诱法(bait-trap)(Nomura，2003)进行标本采集。用 500 mL 左右的塑料瓶(如矿泉水瓶)作为诱杯，从距瓶口 1/3 处剪开，下半截瓶壁下方1/4 处(瓶底上方约 2.5 cm)打一小孔(直径约 0.3 cm)，以免由于雨水过多使标本流失；引诱物为新鲜的瘦猪肉，重量约 100 g，每个诱杯内放 1 块，以细铁丝固定在剪下的瓶口上；将上半截倒扣在诱杯上，使诱物悬于诱杯内，不接触瓶壁和瓶底，然后将瓶子的两部分用订书机订牢，防止肉被其他动物取食。上述方法改进自“Nomura-hoihoi”(Nomura，2003)。采集时用细铁丝将诱杯固定在地表或地上约 1.5 m 处的树枝上。采样时间为 2004 年 6 月底到 8 月中旬，共采样 3 次，每次放置诱杯时间 12 ~ 18 天。标本保存在 70%的酒精内。

基于 3 种落叶松种植林和邻近天然落叶阔叶林的生境特点，每种生境选择 5 个样地，共 20 个。每个样地面积在 2 $hm^2$ 以上，为了保证样地的独立性，相互间距在 500 m 以上。为避免边缘效应的影响(Gibbs and Stanton，2001)，取样安置在样地中央，远离林缘 100 m 以上。由于某些嗜尸性甲虫在地表比地上更容易捕获(Shubeck，1970)，所以我们安排两种位置取样。每个样地由地表和地上 2 个样点组成，为了保证取样的独立性，地表和地上样点的位置间隔约 100 m (Shubeck，1968)。每个样点 2 个诱杯，间距约 10 m；进行数据统计时，使用 2 个诱杯的合计数量为基本单位。部分样地(主要是成熟的落叶松林)的诱杯遭到动物破坏，数据丢失。

标本鉴定主要依据 Brues 等的专著(Brues *et al*.，1954)，并对照中国科学院动物研究所标本馆馆藏定名标本，在有关专家的协助下完成。

### 1.3　数据分析处理

数据分析时，对每个研究样地引诱的甲虫进行数据标准化处理，以每 15 天内捕获的甲虫数据为标准统计单位，分别计算每个样地内从地表和地上捕获的甲虫的物种丰富度、个体数量、多样性及均匀度。

物种多度格局使用同一林相 5 个样地标准化的个体数之和来分析，对丢失诱杯的样地取同一林相其他样地标准化的个体数之和的平均值后再乘 5，使个体数与其他林相的基数一致，然后按 $\log_2$ 的倍程将物种数并组(Ludwig and Reynolds，1988)。

物种多样性分析采用 Shannon-Wiener 多样性指数，

$$H' = -\sum_{i=1}^{s} P_i \ln P_i$$

$P_i = n_i/N$，为第 $i$ 种个体数占总个体数 $N$ 的比率；均匀度分析采用 Pielou 指数，$J = H'/\ln S$；物种丰富度采用物种数(S)测度(马克平和刘玉明，1994)。

嗜尸性甲虫物种的丰富度、个体数量、多样性和均匀度的差异由非参数检验 Kruskal-Wallis 方差分析(non-parametric Kruskal-Wallis analysis of variance)以及 Tukey 多重比较(Tukey post-hoc pairwise comparisons)完成；同一样地地表和地上捕获的甲虫的丰富度、个体数量、多样性和均匀度的差异由 Wilcoxon 配对检验完成(Wilcoxon Signed Ranks Test)。以上的数据分析使用数理统计软件 SPSS (1997)完成。

基于 Bray-Curtis 相似性系数，采用主坐标分析排序(Pielou，1984；Ludwig and Reynolds，1988)，分别对落叶松种植林和天然落叶阔叶林间嗜尸性甲虫群落组成进行相似性分析。再利用系统聚类分析对主坐标分析的结果进行检验(Pielou，1984)，本文主要采用组间连接法(between-groups linkage)，即以物种的种类和数量为原始数据，在标准化处理后，基于 Pearson 相关系数(Pearson correlation coefficient)进行归类。以上分析由统计软件 PAST 完成(Hammer *et al*.，2001)。

## 2　结果与分析

对同一样地内不同位置(地表和地上)捕获的嗜尸性甲虫进行比较，发现地上的物种丰富度和个体数量都高于地表的，其中物种丰富度还达到了显著差异($Z = -2.36$，$P < 0.05$)，为了避免采集位置带来的交叉影响，我们对地表和地上的结果分别进行分析。

### 2.1　群落组成

共获得嗜尸性甲虫标本 3 066 号，分属 14 科。

其中隐翅虫、球蕈甲和埋葬甲3科的个体数量较多，均占个体总数的15%以上，合计占该地区嗜尸性甲虫总数的93.51%，为该地区的优势类群；步甲科的个体数量为4.50%，为该地区常见类群；拟步甲、金龟、叩甲、阎甲、象甲、瓢虫、叶甲、花萤、萤科和丸甲等10科个体数量均少于1%，为该地区的稀有类群。但是，在地面没有捕获到阎甲、瓢虫、叶甲、花萤和萤科的昆虫，在树上没有捕到步甲、拟步甲、象甲和丸甲科的昆虫。此外，尚有少量的标本（仅0.13%）未能鉴定，需要将来进一步研究（表1）。

**表1　卧龙自然保护区不同研究生境内嗜尸性甲虫个体数量分布**

**Table 1　Abundance of sarcosaprophagous beetles in the studied habitats in Wolong Natural Reserve**

| 科 Family | 地表 Ground |  |  |  | 地上 Aboveground |  |  |  | 总计 Total | 百分比 Percentage（%） |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
|  | 5y | 15y | 45y | 100y | 5y | 15y | 45y | 100y |  |  |
| 隐翅虫科 Staphylinidae | 201 | 99 | 48 | 327 | 380 | 119 | 22 | 144 | 1 340 | 43.71 |
| 球蕈甲科 Leiodidae | 5 | 14 | 19 | 24 | 99 | 322 | 103 | 390 | 976 | 31.83 |
| 埋葬甲科 Silphidae | 0 | 0 | 0 | 5 | 60 | 185 | 54 | 247 | 551 | 17.97 |
| 步甲科 Carabidae | 1 | 25 | 5 | 107 | 0 | 0 | 0 | 0 | 138 | 4.50 |
| 拟步甲科 Tenebrionidae | 0 | 0 | 2 | 13 | 0 | 0 | 0 | 0 | 15 | 0.49 |
| 金龟科 Scarabaeidae | 2 | 2 | 1 | 5 | 3 | 0 | 0 | 1 | 14 | 0.46 |
| 叩甲科 Elateridae | 0 | 3 | 0 | 8 | 0 | 1 | 0 | 1 | 13 | 0.42 |
| 阎甲科 Histeridae | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 3 | 5 | 0.16 |
| 象甲科 Curculionidae | 0 | 0 | 2 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4 | 0.13 |
| 瓢虫科 Coccinellidae | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 2 | 0.07 |
| 叶甲科 Chrysomelidae | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0.03 |
| 花萤科 Cantharidae | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0.03 |
| 萤科 Lampyridae | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0.03 |
| 丸甲科 Byrrhidae | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0.03 |
| 其他甲虫 Other beetles | 0 | 0 | 0 | 2 | 1 | 1 | 0 | 0 | 4 | 0.13 |
| 总计 Total | 209 | 143 | 77 | 494 | 548 | 630 | 179 | 786 | 3 066 | 100.00 |

5y：5年生落叶松种植林 5-year-old larch plantation；15y：15年生落叶松种植林 15-year-old larch plantation；45y：45年生落叶松种植林 45-year-old larch plantation；100y：约100年生的天然落叶阔叶林 About 100-year-old natural deciduous broad-leaved forest.

### 2.2　物种多度分布

将每个样地嗜尸性甲虫各物种标准化后的个体数量之和沿演替梯度进行多度排列（图1），可以发现，新种植落叶松林的多度格局与天然落叶阔叶林差异很大。随着演替时间的推移，人工种植落叶松林多度格局的变化模式与天然落叶阔叶林越来越接近，而且，从新种植的落叶松林到天然落叶阔叶林内的嗜尸性甲虫物种有逐渐增多的趋势。还可以发现，树龄较小的落叶松林缺少个体数量位于中央的常见种，图中表现为缺口，新种植的落叶松林内地表捕获的嗜尸性甲虫的物种多度分布在图上的缺口最大；幼年和成熟的落叶松林及天然落叶阔叶林的缺口逐渐减小，表明嗜尸性甲虫的物种多度逐渐均匀。天然林内的稀有种（图中左边部分，个体数量较少）明显多于人工种植的落叶松林。比较不同研究生境地表和地上捕获的嗜尸性甲虫的多度分布图，可以发现两者差别明显：地上捕获的嗜尸性甲虫的多度分布较地表的均匀；同一林相内，多度图上地表的缺口多于地上的；地表捕获的嗜尸性甲虫的物种多度峰值均出现在倍程3，而地上的多度峰值（除成熟的落叶松林外）则在倍程2。

### 2.3　物种多样性

地表捕获的嗜尸性甲虫丰富度在3种落叶松种植林和邻近天然阔叶林内存在显著差异（$U = 10.24$，$df = 3$，$P < 0.05$），天然阔叶林显著高于落叶松种植林，新种植的落叶松林显著低于其他林相；多样性指数在3种落叶松林和天然林内存在显著差异（$U = 9.94$，$df = 3$，$P < 0.05$），新种植的落叶松林显著低于幼年和成熟的落叶松林及天然阔叶林；均匀度（$U = 4.86$，$df = 3$，$P = 0.182$）指数和个体数量（$U = 7.26$，$df = 3$，$P = 0.064$）在落叶松林和天然林内均没有显著差异（表2）。

地上捕获的嗜尸性甲虫丰富度同样在3种落叶松种植林和邻近天然阔叶林内存在显著差异（$U = 10.00$，$df = 3$，$P < 0.05$），新种植和成熟的落叶松林显著低于天然阔叶林；但多样性指数（$U = 7.37$，$df = 3$，$P = 0.61$）、均匀度指数（$U = 2.10$，$df = 3$，$P = 0.552$）和个体数量（$U = 2.58$，$df = 3$，$P = 0.462$）在3种落叶松林和天然林间都没有显著差异（表2）。

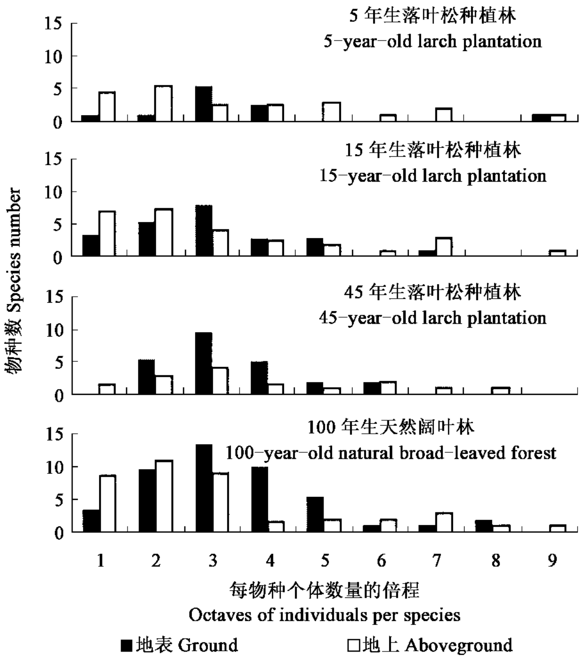

图1　落叶松3种种植林和天然落叶阔叶林内嗜尸性甲虫物种多度分布图(个体数的倍程为以2为底的对数)

Fig. 1　The number of species per abundance class (Octaves, $\log_2$ classes of the catches) for each stand-age class of sarcosaprophagous beetles collected in three larch plantations and a natural deciduous broad-leaved forest

表2　卧龙自然保护区不同研究生境内嗜尸性甲虫物种丰富度、多样性、均匀度和个体数量比较

Table 2　Species richness, diversity, equitability and abundance (individuals) of sarcosaprophagous beetles in the studied habitats in Wolong Natural Reserve

| | 落叶松种植林(年) Larch plantation (Age in years) | | | 天然落叶阔叶林 Natural deciduous broad-leaved forest |
|---|---|---|---|---|
| | 5 | 15 | 45 | |
| **地表** Ground | | | | |
| **丰富度** Richness ($S$) | 3.75 ± 1.03 a | 9.60 ± 1.36 ab | 9.67 ± 2.60 ab | 16.80 ± 2.73 b |
| **多样性** Diversity ($H'$) | 0.51 ± 0.17 a | 1.82 ± 0.18 b | 1.99 ± 0.19 b | 2.12 ± 0.13 b |
| **均匀度** Equitability ($J$) | 0.46 ± 0.19 a | 0.82 ± 0.05 a | 0.93 ± 0.05 a | 0.78 ± 0.04 a |
| **个体数量** Individuals | 52.75 ± 17.11 a | 25.20 ± 7.15 a | 25.67 ± 13.86 a | 84.00 ± 16.17 a |
| **地上** Aboveground | | | | |
| **丰富度** Richness ($S$) | 9.60 ± 1.94 a | 13.60 ± 0.81 ab | 8.00 ± 2.08 a | 17.80 ± 2.85 b |
| **多样性** Diversity ($H'$) | 1.39 ± 0.14 a | 1.75 ± 0.07 a | 1.51 ± 0.25 a | 1.91 ± 0.11 a |
| **均匀度** Equitability ($J$) | 0.67 ± 0.05 a | 0.67 ± 0.03 a | 0.75 ± 0.04 a | 0.68 ± 0.03 a |
| **个体数量** Individuals | 68.80 ± 24.36 a | 71.40 ± 13.17a | 44.00 ± 7.64 a | 90.20 ± 27.23 a |

同行数据后有不同字母表示差异显著(Tukey 法多重比较，$\alpha = 0.05$)。Means of the same row followed by the different letters are significantly different (Tukey test, $\alpha = 0.05$).

## 2.4　群落相似性

从基于地表和地上捕获的嗜尸性甲虫群落组成为属性的主坐标排序图看(图2)，不同树龄的落叶松种植林和邻近天然落叶阔叶林间的嗜尸性甲虫群落组成发生明显分化；各林相间基本没有重叠。其中新种植的落叶松林与幼年、成熟的落叶松林及天然林间在排序图上没有任何重叠，反映了新种植的落叶松林与其他林相之间嗜尸性甲虫群落的相似性很低；幼年、成熟的落叶松林和天然林的相互距离较近或部分重叠，反映了三者间具有一定的相似性；系统聚类分析的结果也证实了这一点(图3)。这说明落叶松种植林与邻近天然阔叶林在嗜尸性甲虫群落组成上存在明显差异，在落叶松林内部，新种植的落叶松林与幼年和成熟的落叶松林明显分开，而成熟落叶松林的嗜尸性甲虫群落在物种组成上除了保留了种植林的特点外，也具有部分天然阔叶林的特点。

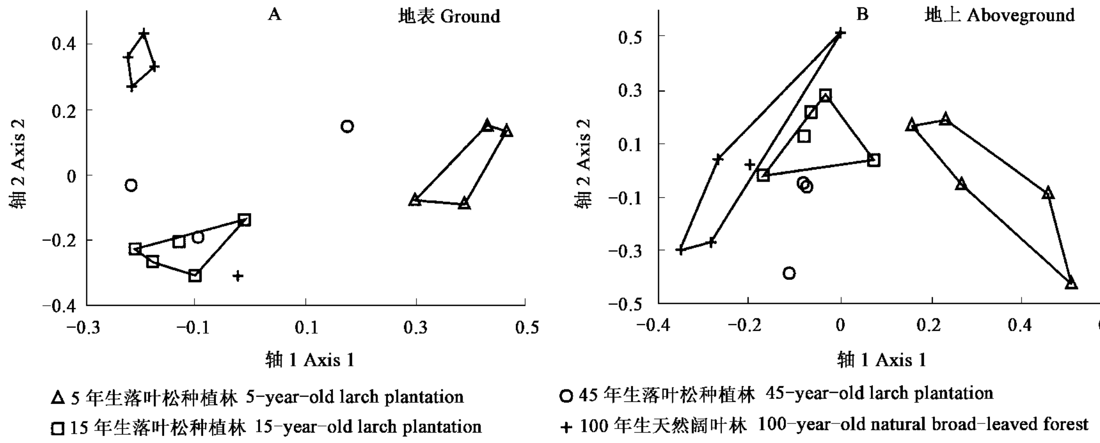

**图 2 以嗜尸性甲虫群落为属性，对落叶松 3 种种植林和天然落叶阔叶林的排序（PCoA，主坐标分析）**

Fig. 2 Ordination plot (PCoA, principal coordinate analysis) of the range of sarcosaprophagous beetles collected by bait trapping in three larch plantations and the natural deciduous broad-leaved forest

**图 2（A）的轴 1 和轴 2 分别解释了 30%和 16%的变异；图 2（B）的轴 1 和轴 2 分别解释了 28%和 18%的变异。** Thirty percent of the variation was explained by axis 1 and 16% by axis 2 in Fig. 2 (A), and twenty-eight percent of the variation was explained by axis 1 and 18% by axis 2 in Fig. 2 (B).

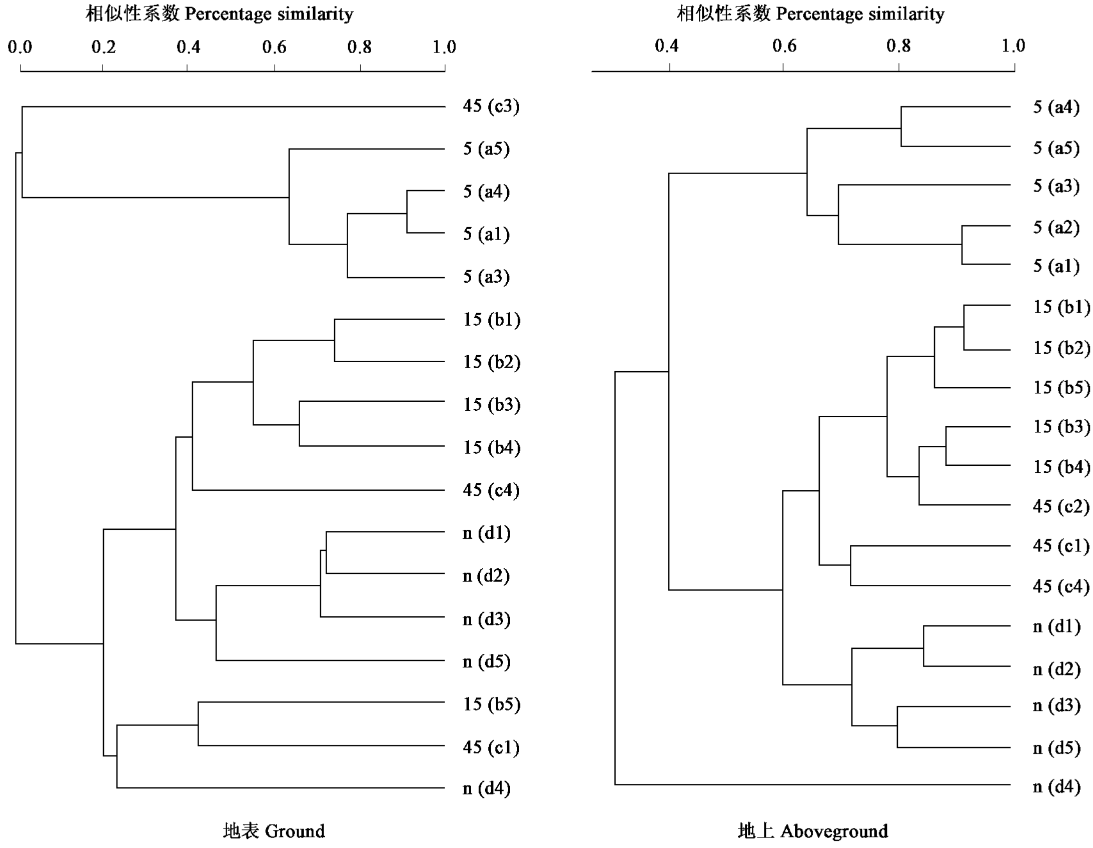

**图 3 基于 Pearson 相关系数，采用组间联法，以嗜尸性甲虫群落为属性对落叶松 3 种种植林和天然落叶阔叶林的聚类分析图**

Fig. 3 Dendrogram based on sarcosaprophagous beetles collected by bait trapping in three larch plantations and the natural deciduous broad-leaved forest. Branching pattern was produced by between-groups linkage, based on Pearson correlation coefficient

**5、15 和 45 分别代表 5 年生、15 年生和 45 年生落叶松种植林；n 代表约 100 年生的天然落叶阔叶林；括号内字母（a～d）代表以上 4 种样地对应的生境类型，序号（1～5）代表 5 个重复。** The sample labels represent 4 forests of different regenerating years (5: 5-year-old larch plantation; 15: 15-year-old larch plantation; 45: 45-year-old larch plantation; n: ca. 100 year-old natural deciduous broad-leaved forest); for the codes within brackets, a – d represent the respective habitats of above four forests, and 1 – 5 represent 5 replications, respectively.

# 3 讨论

## 3.1 嗜尸性甲虫在地表和地上的差异

对嗜尸性甲虫的调查发现从地表和地上 1.5 m 处捕获的种类和物种丰富度存在显著差异。在 Shubeck（1970）对埋葬甲的研究中，也发现有些种类更容易在地表捕获，而 Wilson 等人（1984）认为在地面以上几英尺采集的埋葬甲与在地表捕获的没有显著差异。然而，前人的工作仅集中在埋葬甲等少数类群，而我们的研究是针对全部嗜尸性甲虫的，不同类群的栖息习性不同，这可能是导致差异的主要原因。在地表捕获的嗜尸性甲虫中，步甲科的个体数量超过了球蕈甲和埋葬甲科，但由于步甲通常在地表活动，故总体数量较少。地表和地上捕获的嗜尸性甲虫的物种组成也有一些差异：叶甲、花萤、阎甲、萤和瓢虫科的昆虫多在地上捕获，而步甲、拟步甲、象甲和丸甲科则多采自地表，地表捕获的埋葬甲也很少。这可能是因为生活习性和栖息小环境的不同；而且，叶甲、象甲、丸甲等科的昆虫多为植食性类群，花萤、萤和瓢虫科与腐败生境的关系也不大，这些类群可能属于偶然捕到的种（Shubeck *et al*.，1981）。

## 3.2 嗜尸性甲虫的物种多度分布

对嗜尸性甲虫物种多度的分析表明，物种多度分布格局符合对数正态分布（图 1），反映了群落结构的特点，符合群落中物种多度分布的普遍规律（Ludwig and Reynolds，1988）。Koivula 等人（2002）在芬兰阔叶林内对步甲的研究发现演替早期的物种多度大于后期的，而且物种多度曲线随演替梯度逐渐平缓，加拿大阔叶林中大型节肢动物的多度也有相同趋势（Paquin and Coderre，1997），这与我们的研究结果有一些差异。出现这种差异的原因可能是由于部分样地的诱杯丢失，而且步甲科昆虫的活动范围小于大多数嗜尸性甲虫。天然林的物种多度显著高于人工种植的落叶松林，表明其在嗜尸性甲虫群落保护中不可替代的位置。在新种植的落叶松林内地表捕获的嗜尸性甲虫仅有个别优势种和少数稀有种，缺乏中间分布的常见种，这与 Niemelä 等人（1993）对步甲的研究结果相似。成熟的落叶松林内地上捕获的嗜尸性甲虫的多度较其他林相小，而且峰值出现在倍程 3，这可能是丢失了部分诱杯，数据不完整所致。

## 3.3 嗜尸性甲虫的物种群落组成

对嗜尸性甲虫在森林恢复过程中的物种群落调查发现，在森林演替过程中，不同落叶松林恢复演替阶段嗜尸性甲虫在物种水平上的群落组成差异较大，新种植、幼年和成熟的落叶松林在群落组成上已经发生明显的分化，前者与后两者差异显著；而成熟的落叶松林与幼年的落叶松林相似性较高，与邻近的天然落叶阔叶林也具有一定的相似性。从嗜尸性甲虫群落组成整体上来看，由于落叶松种植林的群落组成与天然林存在很大差异，所以尚无法取代天然阔叶林在维持区域内嗜尸性甲虫群落多样性中的地位。在同一地区的森林恢复对地表甲虫多样性的影响研究中也发现了类似的规律（于晓东等，2006b）。

从物种多样性水平看，落叶松林在丰富度和多样性方面显著低于天然阔叶林；均匀度在成熟的落叶松林最高，但没有达到显著差异；而个体数量在天然阔叶林内最高，成熟的落叶松林个体数量较少，这主要因为将近一半的诱杯在实验过程中由于某些外界因素丢失。在其他类似的演替研究也发现，在人工次生林，尤其是在某些经济树种为主的种植林内，甲虫的物种丰富度和个体数量显著低于邻近尚未砍伐的原始天然林（Romero-Alcaraz and Ávila，2000；Magura *et al*.，2002，2003；于晓东等，2004a）。在步甲研究中还发现某些人工管理的种植林内的物种组成已经接近邻近天然林水平（Magura *et al*.，2000；于晓东等，2004b），但从我们目前的研究看，嗜尸性甲虫的群落组成在种植林内还远远没有达到天然林水平。这可能与管理方式存在差异有关，本研究中落叶松林在种植初期，定期择伐林内的其他杂木或灌木，导致后来的落叶松林林冠层伴生树种很少，树种单一性明显，而且幼年后又无人工管理，林内灌木和杂草茂盛，与天然林有很大差异，所以在整体上可以认为是未经人工管理的种植林，因此嗜尸性甲虫数量低于邻近的天然阔叶林是比较正常的现象。

以上结果表明，落叶松种植林内的嗜尸性甲虫群落尚未恢复到天然落叶阔叶林水平，因此大力发展落叶松种植林虽然可以在外貌上恢复森林水平，但从嗜尸性甲虫群落结构上看，大面积的落叶松林造成了栖息生境单一化，大力种植会导致嗜尸性甲虫群落多样性在局域尺度水平上降低，因此落叶松种植林尚无法取代天然林在维持嗜尸性甲虫群落中的作用。保护卧龙地区嗜尸性甲虫群落多样性，需

**要保留足够大面积的天然林免受人为干扰,并在此基础上大力推广阔叶林。**

**致谢** 本研究的野外工作得到了卧龙国家自然保护区杨建、李国友和杨有钱等先生的大力协助,特此表示感谢。

## 参考文献(References)

Bohoc J, 1999. Staphylinid beetles as bioindicators. *Agri. Ecosyst. Environ.*, 74:357–372.

Brues CT, Melander AL, Carpenter FM, 1954. Classification of Insects. Keys to the living and extinct families of insects, and to the living families of other terrestrial arthropods. *Bull. Mus. Comp. Zool. Harv.*, 108:1–917.

Davies K, Margules CR, 1998. Effects of habitat fragmentation on carabid beetles: experimental evidence. *J. Anim. Ecol.*, 67:460–471.

Day KR, Carthy J, 1988. Changes in carabid beetle communities accompanying a rotation of Sitka spruce. *Agric. Ecosyst. Environ.*, 24:407–415.

Eyre MD, Lott DA, Garside A, 1996. Assessing the potential for environmental monitoring using ground beetles (Coleoptera: Carabidae) with riverside and Scottish data. *Ann. Zool. Fennici*, 33:157–163.

Gibbs JP, Stanton EJ, 2001. Habitat fragmentation and arthropod community change: carrion beetles, phoretic mites, and files. *Ecol. Appl.*, 11: 79–85.

Hammer ø, Harper DAT, Ryan PD, 2001. PAST: Paleontological statistics software package for education and data analysis. *Palaeontologia Electronica*, 4:9.

Klein BC, 1989. Effects of forest fragmentation on dung and carrion beetle communities in Central Amazonia. *Ecology*, 70:1 715–1 725.

Koivula M, Kukkonen J, Niemelä J, 2002. Boreal carabid-beetle (Coleoptera, Carabidae) assemblages along the clear-cut originated succession gradient. *Biodivers. Conserv.*, 11:1 269–1 288.

Lenski RE, 1982. The impact of forest cutting on the diversity of ground beetles (Coleoptera: Carabidae) in southern Appalachians. *Ecol. Entomol.*, 7:385–390.

Lövei GL, Sunderland KD, 1996. Ecology and behavior of ground beetles (Coleoptera: Carabidae). *Ann. Rev. Entomol.*, 41:231–256.

Ludwig JA, Reynolds JF, 1988. Statistical Ecology. New York: Wiley. 1–337.

Ma KP, Liu YM, 1994. Measurement of biotic community diversity Ⅰ: α diversity (Part 2). *Chin. Biodivers.*, 2(4):231–239. [**马克平,刘玉明**,1994. **生物群落多样性的测度方法Ⅰ: α 多样性的测度方法(下). 生物多样性**,2(4):231–239]

Magura T, Elek Z, Tóthmérész B, 2002. Impacts of non-native spruce reforestation on ground beetles. *Eur. J. Soil Biol.*, 38:291–295.

Magura T, Tóthmérész B, Bordán Z, 2000. Effects of nature management practice on carabid assemblages (Coleoptera: Carabidae) in a non-native plantation. *Biol. Conserv.*, 93:95–102.

Magura T, Tóthmérész B, Elek Z, 2003. Diversity and composition of carabids during a forestry cycle. *Biodivers. Conserv.*, 12:73–85.

Niemelä J, 2001. Carabid beetles (Coleoptera: Carabidae) and habitat fragmentation: a review. *Eur. J. Entomol.*, 98:127–132.

Niemelä J, Haila Y, Punttila P, 1996. The importance of small-scale heterogeneity in boreal forests: variation in diversity in forest-floor invertebrates across the succession gradient. *Ecography*, 19:352–368.

Niemelä J, Langor D, Spence JR, 1993. Effects of clear-cut harvesting on boreal ground-beetle assemblages (Coleoptera: Carabidae) in western Canada. *Conserv. Biol.*, 7:551–561.

Nomura S, 2003. Guide to collecting methods [7]: the bait-trap system "Nomura-hoihoi". *Saikaku Tsushin*, 7:45–51.

Paquin P, Coderre D, 1997. Changes in soil macroarthropod communities in relation to forest maturation through three successional stages in the Canadian boreal forest. *Oecologia*, 112:104–111.

Pielou EC, 1984. The Interpretation of Ecological Data. New York: Wiley. 1–263.

Romero-Alcaraz E, Àvila JM, 2000. Landscape heterogeneity in relation to variations in epigaeic beetle diversity of a Mediterranean ecosystem. Implications for conservation. *Biodivers. Conserv.*, 9:985–1 005.

Shubeck PP, 1968. Orientation of carrion beetles to carrion: random or nonrandom? *J. New York Entomol. Soc.*, 76:253–265.

Shubeck PP, 1970. Silphidae attraction to carrion-baited air cans versus carrion-baited ground cans. *Coleopterists Bull.*, 24:66–70.

Shubeck PP, Downie NM, Wenzel RL, Peck SB, 1981. Species composition and seasonal abundance of carrion beetles in an oak-beech forest in the Great Swamp National Wildlife Refuge (N. J.). *Ent. News*, 92(1): 7–16.

SPSS Inc, 1997. SPSS Base 7.5 for Windows User's Guide. Chicago: SPSS Inc. 1–883.

Wilson DS, Knollenberg WG, Fudge J, 1984. Species packing and temperature dependent competition among carrion beetles (Silphidae: *Nicrophorus*). *Ecol. Entomol.*, 9:205–216.

Wolong Natural Reserve, Department of Biology of Nanchong Normal University, Bureau of Forestry of Sichuan Province (P. R. China), 1987. Wolong Vegetation and Resource Plants. Chengdu: Sichuan Publishing House of Sciences and Technology. 1–488. [**卧龙自然保护区管理局,南充师范学院生物系,四川林业厅保护处**,1987. **卧龙植被及资源植物. 成都:四川科学技术出版社**. 1–488]

Yu XD, Luo TH, Zhou HZ, 2003. Species diversity of litter-layer beetles in the Fengtongzhai National Nature Reserve, Sichuan Province. *Acta Entomol. Sin.*, 46(5):609–616. [**于晓东,罗天宏,周红章**,2003. **四川蜂桶寨国家自然保护区地表甲虫物种多样性. 昆虫学报**,46(5):609–616]

Yu XD, Luo TH, Zhou HZ, 2004a. Species diversity of litter-layer beetles in four forest types in Eastern Hengduan Mountain Region. *Zool. Res.*, 25(1):7–14. [**于晓东,罗天宏,周红章**,2004a. **横断山区东部四种林型地表甲虫的物种多样性. 动物学研究**,25(1):7–14]

Yu XD, Luo TH, Zhou HZ, 2004b. *Carabus* (Coleoptera: Carabidae) assemblages of native forests and non-native plantation in Northern China. *Entomol. Fennica*, 17:129–137.

Yu XD, Luo TH, Zhou HZ, 2006a. Effects of forestry practices and forest fragmentation on beetle diversity and conservation strategies. *Acta Entomol. Sin.*, 49(1)：126－136. [**于晓东，罗天宏，周红章，2006a. 林业活动和森林片断化对甲虫多样性的影响及保护对策. 昆虫学报**，49(1)：126－136]

Yu XD，Luo TH，Yang J，Zhou HZ，2006b. Diversity of ground-dwelling beetles（Coleoptera）in larch plantation with different phases of reforestation in Wolong Natural Reserve，Southwestern China. *Zool. Res.*，27(1)：1－11. [**于晓东，罗天宏，杨建，周红章**，2006b. **卧龙自然保护区落叶松林不同恢复阶段地表甲虫的多样性. 动物学研究**，27(1)：1－11]

Zhou HZ，Yang YP，Ren JC，Liu L，Wang SY，Yan R，Li YW，1997. Studies on forensic entomology in Beijing district：Ⅰ. Sarcosaprophagous beetles and their local specificity. *Acta Entomol. Sin.*，40(1)：62－70. [**周红章，杨玉璞，任嘉诚，刘力，王书永，阎荣，李彦文**，1997. **北京地区法医昆虫学研究：Ⅰ. 嗜尸性甲虫物种多样性及其地区分异. 昆虫学报**，40(1)：62－70]

**（责任编辑：袁德成）**